

XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

УДК 621.317

В.В. Стасюк, студент гр. ПА-91мп, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗА МЕТОДОМ НУЛІВ І ПОЛЮСІВ

**Анотація.** При контролі електро-радіоелементів вузлів РЕА модель, номінальні параметри виділених багатоелементних двополюсників відомі. Під час контролю важливим є знаходження відхилень параметрів від номінальних. Тому потрібно оцінити реальний відгук за формою та його відхилення від номінального. Тобто форма відгуку може бути використана як “узагальнений” інформативний параметр багатоелементного двополюсника, за яким можна робити його контроль. При цьому перевагу мають методи, які застосовують випробувальні сигнали спеціальної форми, що забезпечують вихідні сигнали, які легко аналізувати. Це дає змогу підвищити продуктивність систем контролю. Наведено аналіз реалізації методу вимірювання та контролю параметрів складних електричних кіл за методом нулів і полюсів на прикладі кіл другого порядку в середовищі Micro-CAP.

**Ключові слова:** випробувальний сигнал, багатоелементне двополюсне електричне коло, інверсна модель, функція імітансу, метод нулів і полюсів.

### ВСТУП

Високу продуктивність систем контролю можна досягнути на основі прямих вимірів під час перехідних процесів в досліджуваних колах та прямої оцінки значень параметрів кола [1]. Випробувальні сигнали (ВС) однієї із стандартних форм, наприклад, у вигляді одиничної ступінчастої функції, легко відтворюються, але відгук у загальному випадку має складну для аналізу форму. При вимірах окремих  $R, L, C$ -параметрів багатоелементних двополюсних електричних кіл (БДЕК) це зумовлює виміри відгуку з більш високою точністю, що ускладняє апаратуру аналізу і, відповідно, призводить до істотних втрат часу на контроль [2]. Тому розробка методів, які спрощують апаратуру аналізу та дозволяють підвищити продуктивність систем контролю, є актуальною.

### МЕТА РОБОТИ

Метою статті є аналіз реалізації методу вимірювання та контролю параметрів складних електричних кіл за методом нулів і полюсів на прикладі кіл другого порядку в середовищі Micro-CAP.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При контролі електро-радіоелементів (ЕРЕ) вузлів РЕА модель, номінальні параметри БДЕК відомі. Під час контролю важливим є знаходження відхилень параметрів від номінальних. Тому потрібно оцінити реальний відгук за формою та його відхилення від номінального відгуку. Тобто форма відгуку може бути використана як “узагальнений” інформативний параметр БДЕК, за яким можна робити його контроль. При цьому перевагу мають методи, які застосовують ВС спеціальної форми, що забезпечують вихідні сигнали, які легко аналізувати. Це дає змогу підвищити продуктивність систем контролю. Для побудови ВС використовують номінальну дрібно-раціональну функцію імітансу досліджуваного кола [3]. Відповідно ВС побудовані на основ інверсної функції імітансу. Таким чином, нулі і полюси ВС компенсують полюси і нулі функції

імітансу досліджуваного кола. Шляхом вибору моделі ВС можна задати номінальний відгук зручної форми. Наприклад, у вигляді ступінчастої функції. Якщо нулі і полюси некомпенсовані, виникає відхилення відгуку від номінального. Таке відхилення можна дуже просто оцінити та проконтролювати. За відхиленням відгуку від номінального в окремих точках перехідного процесу можливо інваріантне визначення окремих  $R, L, C$  параметрів [2].

Розглянемо в середовищі Micro-CAP [4] приклад визначення параметрів паралельного  $R, C$ -двополюсника у складі трьохполюсного кола (рис. 1). Схема включення забезпечує режим заданої напруги на полюсах ДП (паралельний ДП). Струм через ДП перетворюється у напругу на виході перетворювача:

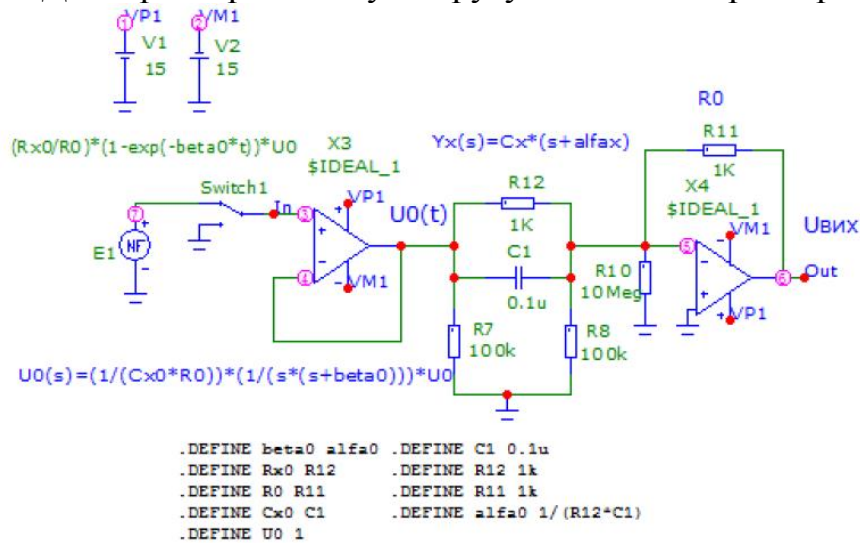
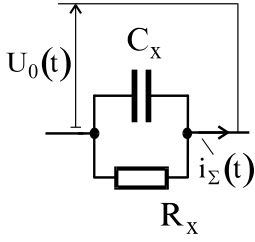
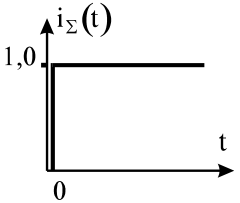


Рисунок 1. Схема перетворювача «імітанс-напруга»: включення паралельного ДП

Таблиця 1. Синтез випробувального сигналу

 <p>Адмітанс: <math>Y_X(s) = C_X(s + \frac{1}{R_X C_X})</math></p> <p><math>R_X = R_{X0} + \Delta R_X</math>,  <math>C_X = C_{X0} + \Delta C_X</math>.</p>	<p>Модель ідеального ВС</p> $U_{B0}(t) = \begin{cases} I_0 R_{X0} (1 - e^{-\frac{1}{R_{X0} C_{X0}} t}), & t \geq 0; \\ 0, & t < 0. \end{cases}$ <p>Умова синтезу ВС</p> $U_{B0}(s) \cdot Y_{X0}(s) = \frac{1}{s} \times I_0$ <p>Операторне зображення ВС</p> $U_{B0}(s) = \frac{1}{C_{X0}} \cdot \frac{1}{s(s + 1/R_{X0} C_{X0})} \times I_0$	<p>Номінальний відгук</p> $\dot{i}_\Sigma(t) = 1(t)$  <p>Якщо</p> <p><math>C_X = C_{X0}</math>;  <math>R_X = R_{X0}</math></p>
---	---	---

Уніфікований відгук

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вих}}(s) &= I_X(s) \times R_0 = U_{B0}(s) Y_X(s) \times R_0 = \frac{C_X(s + 1/R_X C_X)}{C_{X0} \cdot s(s + 1/R_{X0} C_{X0})} I_0 \times R_0 = \\
 &= \frac{C_X(s + \alpha_{X_T})}{C_{X0} \cdot s(s + \beta_{B0_T})} U_0 = \frac{C_X}{C_{X0}} \frac{1}{(s + \beta_{B0_T})} U_0 + \frac{C_X}{C_{X0}} \frac{\alpha_{X_T}}{s(s + \beta_{B0_T})} U_0.
 \end{aligned}$$

$$U_{\text{вих}}(t) = \frac{C_X}{C_{X0}} e^{-\beta_{B0T} t} U_0 + \frac{C_X}{C_{X0}} \frac{\alpha_{X_T}}{\beta_{B0T}} (1 - e^{-\beta_{B0T} t}) U_0 =$$

$$= \frac{C_X}{C_{X0}} e^{-\beta_{B0T} t} U_0 + \frac{R_{X0}}{R_X} (1 - e^{-\beta_{B0T} t}) U_0 = U_{C_X}(t) + U_{R_X}(t), \quad t \geq 0.$$

де  $U_{C_X}(t) = \frac{C_X}{C_{X0}} e^{-\beta_{B0T} t} U_0$ ;  $U_{R_X}(t) = \frac{R_{X0}}{R_X} (1 - e^{-\beta_{B0T} t}) U_0$ ,  $t \geq 0$ .

Визначення параметрів (рис.2):

$$\lim_{t \rightarrow 0} U_{\text{вих}}(t) = U_{\text{вих}}(0) = \frac{C_X}{C_{X0}} U_0; \quad C_X = \frac{U_{\text{вих}}(0)}{U_0} C_{X0}.$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U_{\text{вих}}(t) = U_{\text{вих}}(\infty) = \frac{R_{X0}}{R_X} U_0; \quad R_X = \frac{U_0}{U_{\text{вих}}(\infty)} R_{X0}.$$

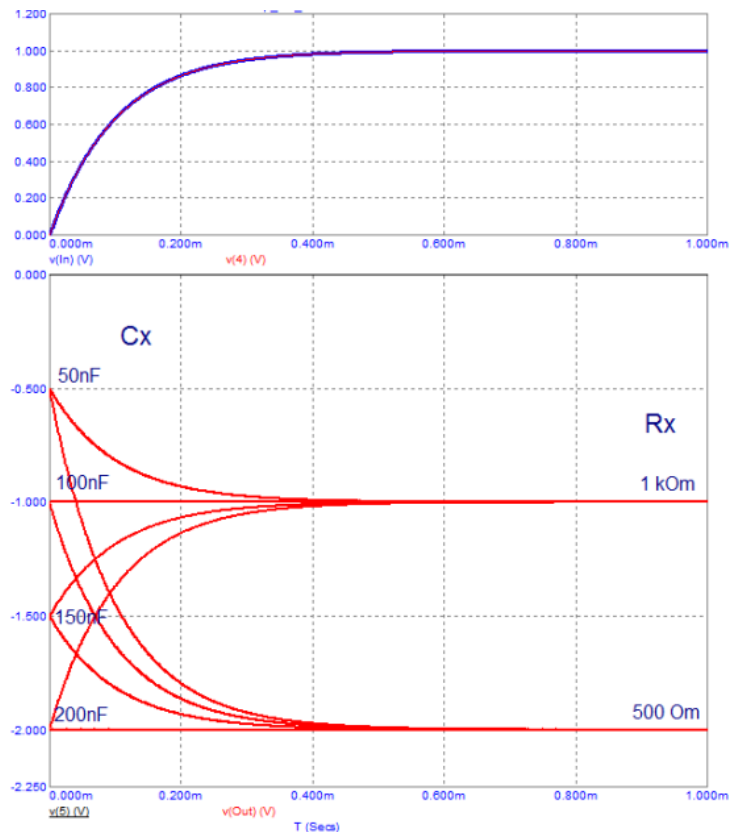


Рисунок 2. Визначення параметрів паралельного  $R, C$  - двополюсника: відгук, якщо  $R_X = 1 \text{ kOm}$  &  $R_X = 500 \text{ Om}$ ;  $C_X \in [50 \text{ nF}; 200 \text{ nF}]$  – змінюється з кроком  $\Delta C = 50 \text{ nF}$

Якщо схема ДП послідовна, перетворювач імітанс-напруга забезпечує режим заданого струму у ДП. Напруга на ДП є вихідної величиною перетворювача. Струм через контрольований ДП або напруга на ДП визначається тільки параметрами цього ДП незалежно від інших гілок трикутника. Здійснюється інваріантне перетворення імітансу контрольованого ДП (пасивна величина) в активну величину (напругу) на виході перетворювача.

В загальному випадку моделлю досліджуваного ДП є багатоеlementне електричне коло.

## ВИСНОВКИ

Наведений приклад ілюструє одержання інформації про параметри складних електричних кіл за методом нулів і полюсів. Шляхом завдання моделі ВС можна отримати відгук у вигляді одиничної ступінчастої функції. Нулі і полюси моделі ВС задають таким чином, щоб компенсувати полюси і нулі функції імітансу багатоеlementного двополюсного електричного кола. Нулі і полюси, які не скомпенсовані, дають відхилення відгуку від номінального. Таке відхилення дуже просто оцінити та проконтролювати. За відхиленням відгуку від номінального в окремих точках перехідного процесу можливо інваріантне визначення  $R, L, C$ -параметрів

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Байда, Н.П. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА / Н.П. Байда, И.В. Кузьмин, В.Т. Шпилевой. – М.: Радио и Связь, 1987. – 256 с.
- [2] Мартяшин, А.И. Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей / А.И. Мартяшин, К.Л. Куликовский, С.К. Куроедов, Л.В. Орлова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.
- [3] Макаров, И.М. Таблица обратных преобразований Лапласа и обратных z-преобразований: дробно-рациональные изображения: учеб. пособие для втузов / И.М. Макаров, Б.М. Менский. – М.: Высш. шк., 1978. – 247 с.
- [4] Micro-CAP 9. *Electronic Circuit Analysis Program Reference Manual*. Copyright 1982-2008 by Spectrum Software 1021 South Wolfe Road Sunnyvale, CA 94088. – 916 s. – <http://www.spectrum-soft.com>
- [5] В.І. Губар, Ю.С. Шумков, та Б.П. Хіміченко, «Вимірювання параметрів електричних кіл із застосуванням випробувальних сигналів спеціальної форми», *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. №5, с. 133-140, 2010.
- [6] Туз, Ю.М. Теорія електричних кіл і сигналів : навч. посіб. / Ю.М. Туз, Ю.С. Шумков; за заг. ред. Ю.М. Туза. – К.: "Корнійчук", 2012. – 424 с.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.*